

УДК 669-1

А. В. Берштейн*, Л. А. Лобанова, С. В. Данилов

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

*bershtejn99@bk.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук М. Л. Лобанов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ($\gamma \rightarrow \alpha$)-ПРЕВРАЩЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАМНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ THERMO-CALC ДЛЯ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ

В работе рассмотрены возможности программы Thermo-Calc, позволяющей проводить расчеты равновесных диаграмм состояния, количества и состава фаз, температур ликвидуса, равновесного и неравновесного солидуса, образования фаз в слабо неравновесных условиях. Проведены термодинамические расчеты по определению температуры A_3 для малоуглеродистой низколегированной стали для контролируемой термомеханической обработки (ТМСП).

Ключевые слова: термодинамические расчеты, низкоуглеродистая сталь, температура превращения, контролируемая термомеханическая обработка

A. V. Berstein, L. A. Lobanova, S. V. Danilov

DETERMINATION OF TEMPERATURE OF ($\gamma \rightarrow \alpha$)-TRANSFORMATION USING THE SOFTWARE THERMO-CALC FOR SMALL CARBON LOW ALLOY STEEL

In this paper, we considered the capabilities of the Thermo-Calc program, which allows us to calculate equilibrium phase diagrams, the number and composition of phases, liquidus temperatures, equilibrium and nonequilibrium solidus, and phase formation under nonequilibrium conditions. Thermodynamic calculations were carried out to determine the temperature A_3 for mild low-alloy steel for controlled thermomechanical processing (TMCP).

Key words: thermodynamic calculations, low carbon steel, transformation temperature, TMCP

При помощи трубопроводов нефть и газ транспортируются на огромные расстояния и преобразуются в различные формы

энергии, такие как теплота сгорания топлива в двигателях автомобилей или электричество в строительных сооружениях. К стали для магистральных трубопроводов предъявляются высокие требования, предусматривающие значительные повышения как прочности, так и ударной вязкости. Стремление к снижению стоимости стали за счет уменьшения количества легирующих элементов, а также устранения термической обработки как конечной операции при производстве листа привело к созданию процесса контролируемой термомеханической обработки (Thermo-Mechanical Controlled Processing — ТМСП), представляющей собой сочетание контролируемых горячей деформации и ускоренного охлаждения применительно к низколегированным сталям на станах 5000. В зависимости от температуры окончания контролируемой горячей прокатки (выше или ниже A_{C3}) после охлаждения в стали могут быть получены структуры, существенно отличающиеся по прочностным и пластическим свойствам [1].

Для решения сложной задачи выбора состава сталей, предназначенных для изготовления труб магистральных газопроводов, требуется проведение дорогостоящих опытно-промышленных исследований по влиянию базовых химических элементов (углерод, марганец, кремний и др.) с целью установления их оптимального содержания для обеспечения заданного уровня конструктивной прочности.

Целью работы стала оценка возможности использования термодинамических расчетов температуры A_3 для стали 06Г2МБ. Эта сталь низкоуглеродистая, с бейнитной структурой, после контролируемой термомеханической обработки (ТМСП), применяемая для изготовления сварных и бесшовных труб [2].

Thermo-Calc представляет собой современный аппарат термодинамических расчетов, содержащий большое количество данных для выполнения расчетов и построения фазовых диаграмм состояния. Программа Thermo-Calc позволяет проводить расчеты равновесных диаграмм состояния (проекций плоскостей ликвидуса и солидуса), количества и состава фаз, температур ликвидуса, равновесного и неравновесного солидуса, образования фаз в слабо неравновесных условиях (расчет по модели «Sheil»).

С целью установления оптимального фазового состава стали при кристаллизации были произведены расчеты по модели «Sheil» («слабо неравновесная кристаллизация») для химических составов в пределах марочного: 1) с максимальным содержанием аустенитообразующих

и минимальным содержанием ферритообразующих элементов (рис., а) с минимальным содержанием аустенитообразующих и максимальным содержанием ферритообразующих элементов (рис., б). Показана возможность уменьшения количества аустенита при кристаллизации.

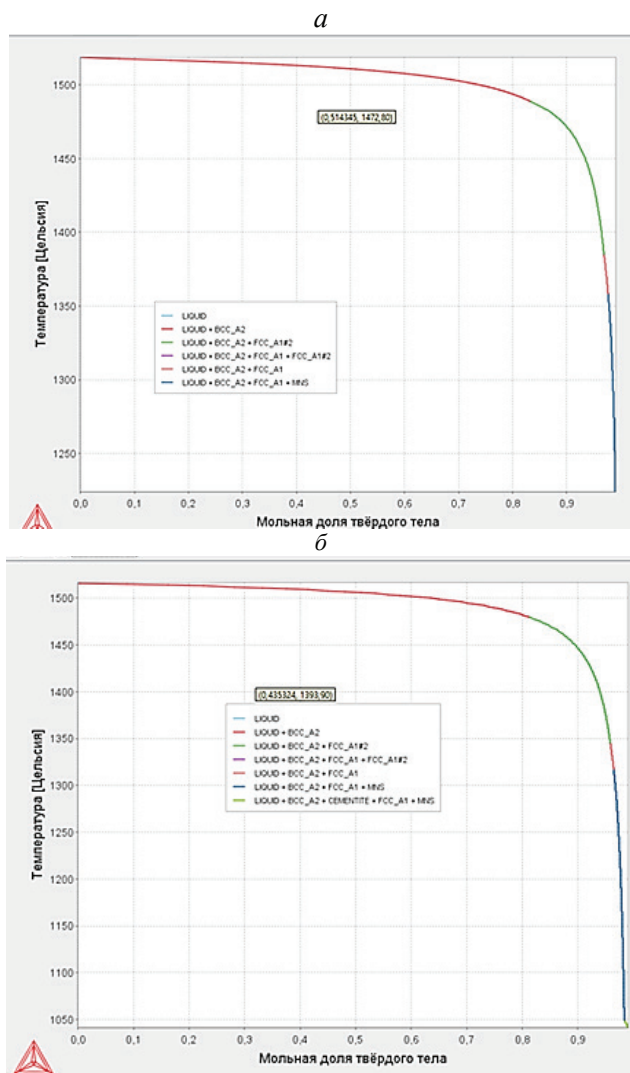


Рис. Примеры расчетов фазового состава при равновесной кристаллизации и с использованием модели «Sheil» для различных химических составов 06Г2МБ:

а — 98 % при температуре 1482 °С; б — 80 % феррита при 1479 °С в неравновесной системе

Применение программы Thermo-Calc дает возможность определить температурные интервалы, в которых следует деформировать сплав в практически однофазном состоянии. Полученная в ходе исследований температура для среднего химического состава сравнивалась с температурами, которые рассчитывались по формулам из работ [3–5], построенным по экспериментальным данным. Для среднего химического состава расчет с использованием Thermo-Calc дает величину $A_3 = 824\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Расчеты, проведенные с использованием экспериментально построенных формул, дают величины: [3] — $783\text{ }^{\circ}\text{C}$, [4] — $816\text{ }^{\circ}\text{C}$, $823\text{ }^{\circ}\text{C}$, [5] — $825\text{ }^{\circ}\text{C}$, 861 или $917\text{ }^{\circ}\text{C}$. Исходя из полученных данных можно сделать вывод, что теоретическое значение A_3 , полученное в настоящей работе, близко к среднему, и, по-видимому, является наиболее точным. Полученное значение можно использовать для оптимизации технологических режимов ТМСП при заданном химическом составе стали.

*Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии
Президента Российской Федерации (проект СП-259.2018.1).*

Литература

1. Влияние кристаллографической текстуры бейнита на разрушение листов трубных сталей, полученных контролируемой термомеханической обработкой / И. Ю. Пышминцев [и др.] // Металлург. 2016. № 4. С. 57–63.
2. Поздняков А. В., Чеверикин В. В. Термодинамические расчеты и анализ фазовых диаграмм многокомпонентных систем: учебно-методическое пособие. М. : МИСиС, 2012. 43 с.
3. Grange R. A. Estimating Critical Ranges in Heat Treatment of Steels // Metal Progress. 1961. V. 70, No. 4. P. 73–75.
4. Hougardy H. P. Werkstoffkunde Stahl Band 1: Grundlagen. Düsseldorf: Verlag Stahleisen GmbH, 1984. 229 p.
5. Kasatkin O. G., Vinokur B. B., Pilyushenko V. L. Calculation Models for Determining the Critical Points of Steel // Metal Science and Heat Treatment. 1984. V. 26, No. 1. P. 27–31.